

УДК 621.371:550.837.6

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ
С АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДОЙ ПЛАЗМОПОДОБНОГО ТИПА**

**канд. техн. наук, доц. В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ, К.И. КРЕМЕНЯ
(Полоцкий государственный университет);**

Е.Ю. ЗАЯЦ

(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)

Рассмотрены вопросы применения модулированных сигналов для поиска и выделения анизотропных сред плазмopodobного типа. Исследовано физическое моделирование взаимодействия электромагнитных волн с углеводородными залежами. Анализ проведен с применением электродинамического подхода, основанного на использовании квазигидродинамического приближения. Проведены лабораторные исследования взаимодействия амплитудно-модулированных сигналов на модели среды с включением нефти, находящейся под слоем почвы, соответствующей песчано-алевритовым фракциям. Измерены амплитудные и фазовые характеристики электромагнитных волн. Используется вертикальная поляризация зондирующих сигналов. Рассмотрен широкий диапазон используемых частот. Вариация характеристик зондирующих сигналов позволяет повысить информативность поиска. Полученные результаты лабораторных исследований позволяют дать рекомендации по разработке электромагнитных методов поиска, а также могут быть использованы в поисковой геофизике.

Введение. Для изучения физических процессов, происходящих на реальных месторождениях, используется моделирование. В геофизике моделирование проводят на образцах горных пород, отобранных в скважинах, шахтах, штольнях и т.д. С помощью образцов моделируют процессы фильтрации флюидов, электромагнитные, тепловые, диффузионные, ядерные, акустические и другие природные процессы. В некоторых случаях создают модели самих горных пород (искусственные образцы), на которых в последующем выполняют моделирование указанных процессов. Кроме самих физических процессов иногда моделируют термобарические условия, в которых протекают эти процессы. Для этой цели необходимо использовать специальные установки, позволяющие моделировать температуру залегания горных пород, геостатическое и пластовое давление.

Проведение физического моделирования в геофизике связано с определенными сложностями. Прежде всего нарушается геометрическое подобие контурного объекта и модели. Объем породы, исследуемый в лабораторных условиях, не соответствует ее естественным условиям залегания, которые изучаются геофизическими методами в скважинных вариантах и особенно методами полевой (наземной) геофизики. Сложность физического моделирования горных пород заключается также в том, что в природных условиях исследуемый объект не является изолированной системой, а занимает определенное пространственное положение среди других пород, обладающих иными метрологическими и петрофизическими характеристиками, и находится с ними в физико-химическом и термодинамическом взаимодействии.

При извлечении породы с той или иной глубины с конкретными термобарическими условиями на поверхности (в атмосферные условия) нарушается внутренняя структура горной породы, которая оказывает значительное влияние на петрофизические характеристики. Нарушение первоначальной структуры породы связано с образованием в ней дополнительной трещиноватости, усыханием, растрескиванием и изменением набухаемости глинистого цемента, изменением порового объема породы за счет деформаций ее скелета и т.п. [1].

В настоящее время более широко распространено предметно-математическое и несколько реже физическое моделирование. В геофизике наибольшее распространение получило электрическое моделирование, которое позволяет изучать на электрических моделях электромагнитные, тепловые, акустические, диффузионные, гидродинамические и другие явления. Для этой цели используют плоские сеточные модели, состоящие из набора различных сопротивлений (электроинтегратор), – дискретное моделирование, электролитические ванны и электропроводную бумагу – моделирование на сплошных средах [2].

Моделирование взаимодействия электромагнитных волн с анизотропными средами плазмopodobного типа. Наряду с натурными исследованиями углеводородных залежей широко используется физическое моделирование с применением электродинамического подхода, основанного на использовании связи характеристик исследуемого объекта с параметрами воздействующих сигналов.

Аналогия исследуемой среды над залежью углеводородов с плазмopodobным образованием, имеющим анизотропные свойства, позволяет использовать для изучения взаимодействия электромагнит-

ных волн (ЭМВ) с углеводородными залежами (УВЗ) существующие решения при изучении плазмы и плазмоподобных сред:

- использование кинетического подхода [3] и его приближенное решение в области низких частот [4];
- гидродинамическое рассмотрение процессов взаимодействия в сильных магнитных полях [5], в том числе с учетом столкновений, в нелинейных режимах при исследовании устойчивости решений;
- использование как кинематического, так и гидродинамического подходов в частных случаях взаимодействия слабых и сильных электромагнитных полей;
- моделирование одножидкостной плазмы в различных энергетических состояниях и ограничение условий существования анизотропии магнитоактивной плазмы на высоких частотах.

Предметом анализа плазмоподобных сред служат используемые для создания радиомаскировки и радиоукрытий различные аэрозоли, факелы горючих смесей и плазменные источники, создающие облака ионизированного газа, а также плазменные разряды (газовые, молнии), твердотельная электроионнодырочная плазма полупроводников и т.д.

Анализ основных направлений исследования параметров плазмоподобных образований с помощью электромагнитных методов показывает, что наиболее общим методом изучения процесса взаимодействия ЭМВ с анизотропной средой является метод кинетического уравнения, использующий функцию пространственно-временного распределения частиц. Для сильно разреженного газа, когда взаимодействие между частицами мало (в пределе бесстолкновительный режим), компоненты тензора диэлектрической проницаемости однозначно определяются гидродинамическим приближением.

Для рассмотренной электрохимической обстановки в окрестности залегающих углеводородов следует отдать предпочтение квазигидродинамическому приближению с использованием многочастичных электронно-ионных токов и феноменологически заданных частот столкновений, ввиду отсутствия необходимости учета точных пространственно-временных перемещений частиц [6].

Теоретический анализ взаимодействия амплитудно-модулированных (АМ) сигналов достаточно подробно изложен в [7]. Целью настоящей работы является разработка рекомендаций для методов поиска анизотропных сред плазмоподобного типа (АСПТ) на основе лабораторных исследований.

Рассмотрено взаимодействие радиосигнала вида

$$e(t) = E(1 + k_m \cos \Omega t) \cos \omega t, \quad (1)$$

где E – амплитуда несущего колебания;

k_m – коэффициент амплитудной модуляции;

$\Omega = 2\pi F$, $\omega = 2\pi f$ – модулирующая и несущая частоты.

Лабораторные исследования с использованием модулированных сигналов

Лабораторное исследование трансформации поля модулирующих ЭМВ проведено на модели среды с включением нефти, находящейся под слоем почвы, соответствующей песчано-алевритовым фракциям.

Для локализации нефти помещена в специальный контейнер с размерами $l_k = 1$ м, $d = h = 0,4$ м. На отрезке $l_{k1} = 1$ м моделируется участок относительно однородных вмещающих пород (рис. 1). Модель не учитывает анизотропии среды и предназначена для исследования поведения поля ЭМВ на границе раздела «вмещающие породы – протяженная нефтяная залежь».

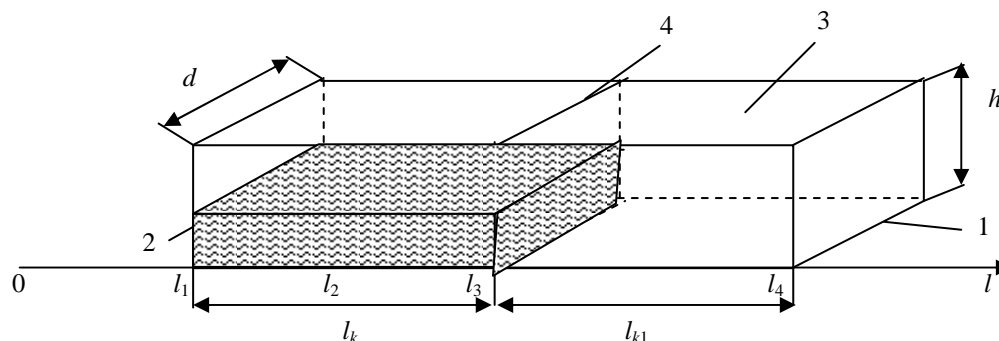


Рисунок 1 – Экспериментальная модель залежи углеводородов:

1 – контейнер; 2 – специальный контейнер; 3 – слой почвы; 4 – граница раздела сред

Структурная схема лабораторной установки для исследования границы раздела «нефть – вмещающая порода» представлена на рисунке 2.

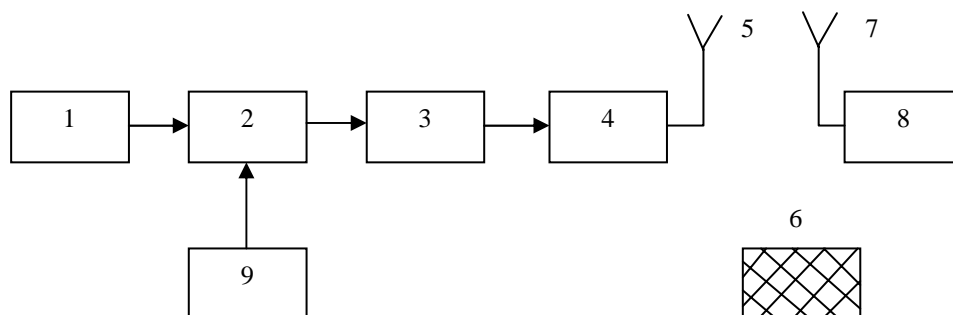


Рисунок 2 – Структурная схема установки для исследования нефти в режиме АМ-сигналов:
 1 – генератор несущей частоты; 2 – модулятор; 3 – развязывающее устройство; 4 – согласующее устройство;
 5, 7 – антенны; 6 – исследуемая среда; 8 – измеритель плотности потока мощности ПЗ-18;
 9 – генератор модулирующего сигнала

Для обеспечения дальнейшей зоны действия исследуемых антенн частоты исследуемых сигналов выбирались из условий геометрии моделируемого объекта.

Так, например, при частоте $f = 3$ ГГц ($\lambda = 10$ см) расстояние $l_k + l_{k1} = 2$ м $= 20\lambda$, а ширина $d = h = 4\lambda$.

На рисунке 3 показаны экспериментальные зависимости напряженности электрического поля вдоль исследуемого участка на частоте $f = 5$ ГГц и частоте модуляции $F = 50$ МГц.

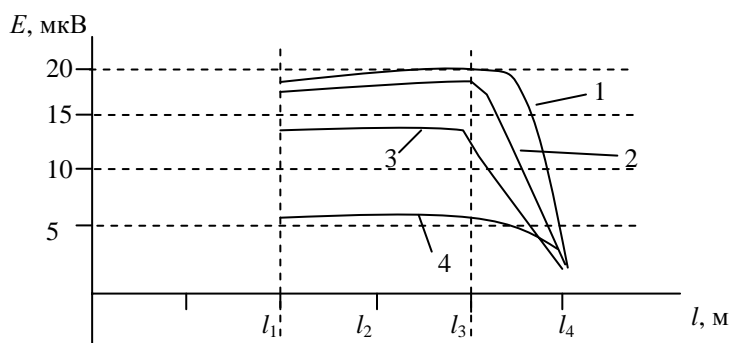


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости $E = \varphi(l)$:
 1 – $k_m = 0,3$; 2 – $k_m = 0,5$; 3 – $k_m = 0,7$; 4 – $k_m = 0,9$

Результаты проведенных лабораторных исследований свидетельствуют о том, что амплитудная модуляция приведет к незначительным изменениям реакции среды над УВЗ.

Устройство, реализующее измерение фазовых характеристик, показано на рисунке 4.

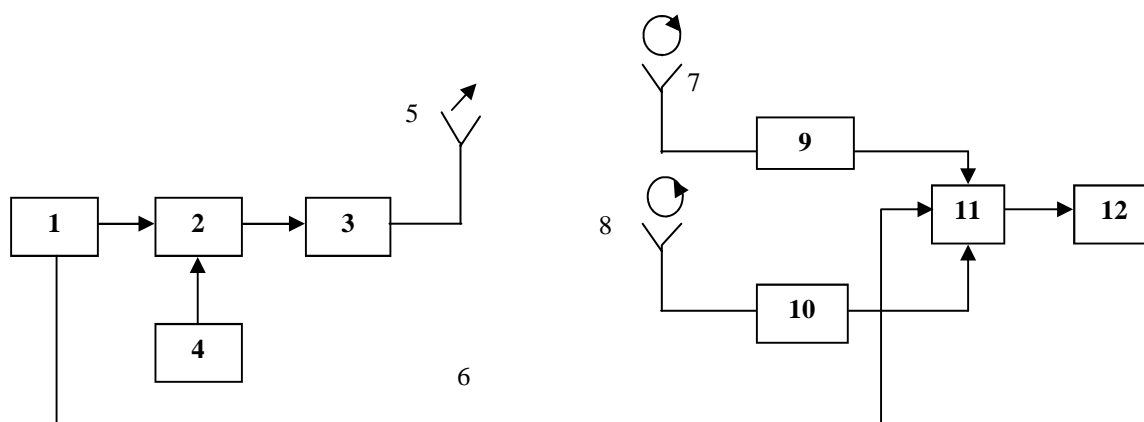


Рисунок 4 – Структурная схема для измерения фазовых характеристик ЭМВ:
 1 – генератор; 2 – модулятор; 3 – усилитель мощности;
 4 – генератор модулирующего колебания; 5 – антенна линейной поляризации;
 6 – опорный канал; 7, 8 – антенны правой и левой круговой поляризации;
 9, 10 – радиоприемные устройства; 11 – разностное устройство; 12 – устройство сравнения фаз

Фазовые характеристики ЭМВ, измеренные для частоты модуляции $F = 150$ МГц (рис. 5) и для коэффициента амплитудной модуляции $k_m = 0,5$ (рис. 6), свидетельствуют о разных эффектах взаимодействия ЭМВ с исследуемой средой.

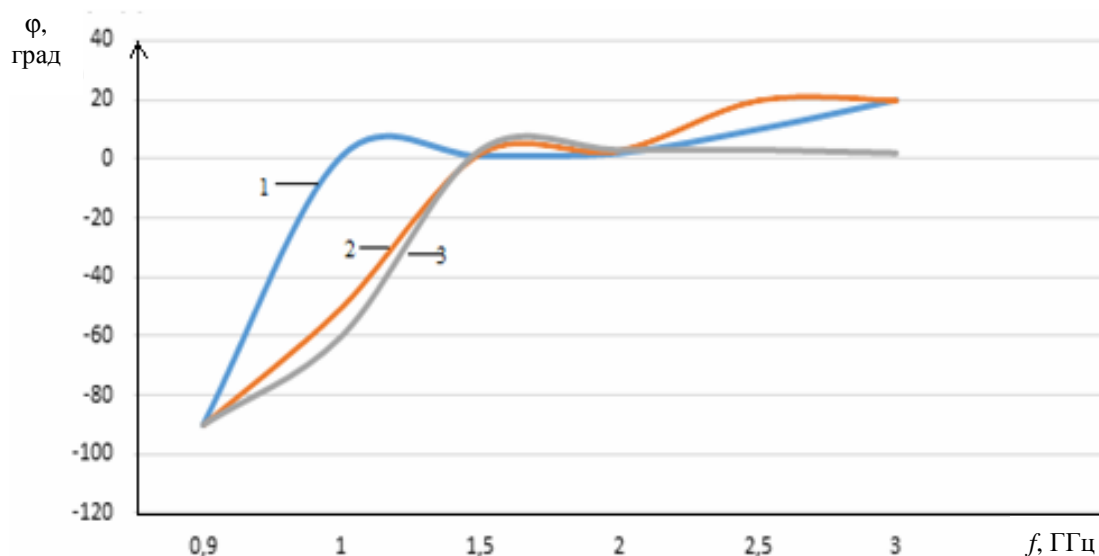


Рисунок 5 – Фазовые характеристики: 1 – $k_m = 0,1$; 2 – $k_m = 0,3$; 3 – $k_m = 0,9$

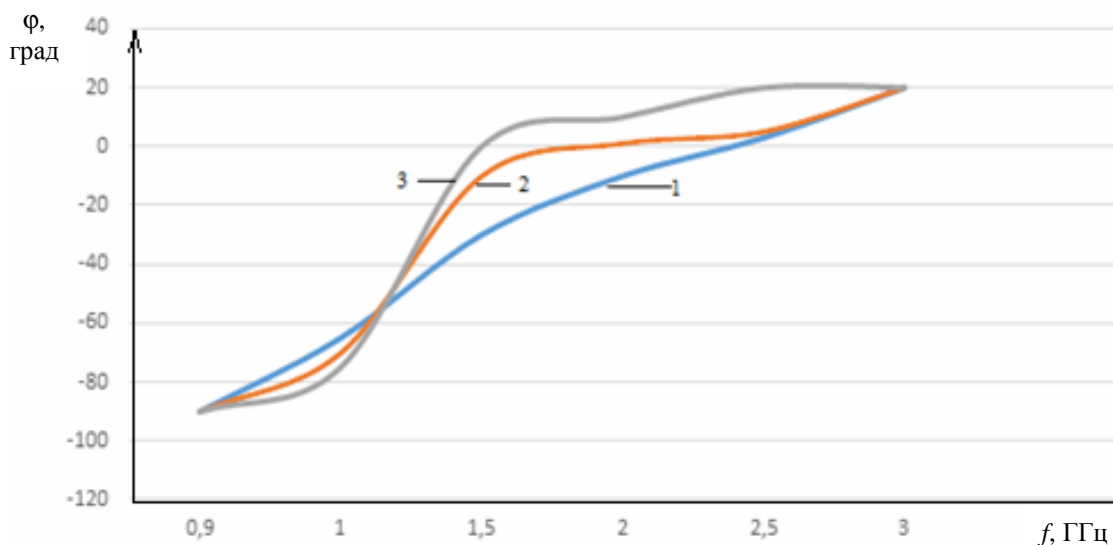


Рисунок 6 – Фазовые характеристики:
1 – $F = 100$ МГц; 2 – $F = 150$ МГц; 3 – $F = 200$ МГц

Наиболее существенное влияние на изменение фазового сдвига оказывают частоты несущего колебания $f = (0,5-1,5)$ ГГц. Дальнейший рост частоты стабилизирует фазу в области небольших положительных значений, равных примерно $(20-25)^\circ$ для $f = 3$ ГГц. Вариации модулирующей частоты и коэффициента АМ отражаются на изменении фазового сдвига.

Заключение. Проведено физическое моделирование взаимодействия ЭМВ с анизотропными средами, созданными искусственно в лабораторных условиях. Полученные измерения свидетельствуют о частотной зависимости амплитудных и фазовых характеристик электромагнитного поля. Установлены наиболее эффективные соотношения параметров ЭМВ для задач георазведки. Результаты исследований могут быть использованы при построении радиотехнических систем поиска и выделения АСПТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонтьев, Е.И. Моделирование в петрофизике / Е.И. Леонтьев. – М. : Недра, 1978. – 125 с.

2. Дахнов, В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрядов скважин / В.Н. Дахнов. – М. : Недра, 1972. – 365 с.
3. Shkarofsky, I.P. New representations of dielectric tensor elements in magnetized plasma / I.P. Shkarofsky // I. Plasma Phys. – 1986. – Vol. 35, № 2. – P. 319–331.
4. Новиков, В.В. О кинетическом подходе к описанию электрических свойств нижней ионосферы в диапазоне СДВ / В.В. Новиков // Проблемы дифракции и распространения радиоволн : сб. – Л., 1981. – Вып. 18. – С. 29–43.
5. Лауринавичус, А. Особенности распространения электромагнитных волн в волноводе с замагниченной полупроводниковой стенкой / А. Лауринавичус, П. Маланаускас // Литовский физический сборник / ЛГУ. – Вильнюс, 1982. – Т. 22, № 3. – С. 48–51.
6. Бенефи, Дж. Радиационные процессы в плазме / Дж. Бенефи. – М. : Мир, 1973. – 437 с.
7. Янушкевич, В.Ф. Зондирование анизотропных сред двухчастотными и модулированными сигналами / В.Ф. Янушкевич / Полоц. гос. ун-т. – Минск, 1997. – 8 с. – Деп. в БелИСА 12.06.97 г. – № Д199713.

Поступила 21.09.2015

IDENTIFICATION OF ANISOTROPIC PLASMA ENVIRONMENTS OF THIS TYPE

V. YANUSHKEVICH, K. KREMENYA, E. ZAYATS

The problems of modulated signals for search and selection-governmental anisotropic plasma-type environments. The physical modeling of the interaction of electromagnetic-magnetic waves with hydrocarbon deposits. The analysis was performed using electrodynamic under-progress based on the use of quasi-hydrodynamic approximation. The laboratory studies of the interaction amplitude-modulated signals on the model of the environment with the inclusion of oil under a layer of soil, sand and silt respective factions. The amplitude and phase characteristics of electromagnetic waves. Use the vertical polarization of probing signals. A wide range of frequencies used. Variation characterized tics-probing signals allows to increase the information content of the search. The results of laboratory studies: Laws allow us to give advice on the development of electro-magnetic methods of search. The correlation of the results of simulation experiments, experimental studies. The measurement results can be used to search geophysics.